

平成 21 年 4 月 15 日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19760087
 研究課題名 (和文) 多軸加工機の運動誤差要因の体系化と加工形状精度による
 それらの診断法の構築
 研究課題名 (英文) Modeling of causes of motion errors on multi axes machine tools
 and development of their diagnosis methodology by machining tests.
 研究代表者
 茨木 創一 (IBARAKI SOICHI)
 京都大学・大学院工学研究科・准教授
 研究者番号：80335190

研究成果の概要：

NC 工作機械の多軸化・複合化は、近年の工作機械の技術的発展の重要なキーワードのひとつである。多軸制御加工機は直進軸・回転軸が直列に積み重なる構造となるため、各軸の誤差、軸間の相対的誤差が累積し、従来の加工機と比較して加工精度を出しにくい構造であると言える。本研究では、最初に多軸制御加工機に含まれる誤差要因を体系的にモデル化し、それらが加工物の形状精度に及ぼす影響を定量的に評価できるシミュレータを構築した。それを基礎として、加工試験によって多軸制御加工機の誤差要因を定量的に診断するための方法を構築した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,800,000	0	1,800,000
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	420,000	3,620,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学，生産工学・加工学

キーワード：NC 工作機械，多軸加工機，幾何誤差，加工誤差，加工シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

最近数年で、5 軸制御加工機・複合加工機は日本の工作機械メーカーの多くにとって主力機種のひとつに成長した。多軸制御加工機の普及に伴い、金型加工など高い加工精度が求められる加工アプリケーションに用いられるケースも増加しつつある。多軸制御加工機の高精度化の要求は、現在まさに高まりつつあると言える。

多軸制御加工機の高精度化を図る基礎として、まずその運動精度を正確に計測することが必要である。工作機械の精度は、最終的には加工試験によって評価されるべきであ

る。5 軸制御工作機械を対象とした加工試験法に関する規定は、現在の ISO 規格には存在しない。ただし、NAS(National Aerospace Standard)979 規格には、円錐台の加工試験が規定されている。これは図 1 に示すように、円錐台形状のワークをストレートエンドミルを用いて 5 軸加工し、加工物の形状精度を計測し、加工機の加工精度の評価を行うものである。5 軸制御工作機械を対象とした加工試験の規格はこれが唯一といってよいため、工作機械のメーカーでは、最終的な精度検査用に広く普及している。

しかし、この円錐台加工試験の重要な問題

点のひとつとして、5軸制御工作機械に内在する誤差要因と、加工物の形状誤差との関係が複雑で、加工物の形状誤差から機械の誤差要因を診断することが極めて難しいことが知られている。そのため、工作機械メーカーの精度試験においても、加工された円錐台の形状誤差が許容値よりも大きい場合、機械のどこがその原因なのかを診断することができない。どうしても許容値以下が達成できない場合には、例えば回転軸ユニットを全て交換するなどの処置が取られることが多い。

2. 研究の目的

以上を踏まえ、多軸・複合加工機の高精度化に、精度評価・誤差要因診断の観点から寄与することを目的として、以下を構築することを目的とした。

(1) 多軸加工機の誤差要因の体系化

最初に、幾何誤差、位置決め誤差、静的な高次の誤差、動的な誤差、同期誤差など、多軸加工機に存在する運動誤差要因を整理し、体系化を行う。

(2) 加工精度シミュレータの構築

上記の個々の運動誤差要因が、加工物の形状精度にどのように転写されるかを定量的に評価できる加工精度シミュレータを構築する。

(3) 誤差要因の補正法

機械の指令軌跡の補正によって、上記の誤差要因の影響をキャンセルし、加工精度を改善する手法を示す。

(4) 多軸加工機の加工精度を評価するための新しい加工試験法の提案

上記を基礎として、多軸加工機の加工精度の評価、及び運動誤差要因の診断を行うための加工試験法として、NAS979の円錐台加工試験よりも適切なものを提案する。

提案する加工試験法の特徴は、以下のよう

- 加工法は可能な限り容易で、加工物のセットアップ等の手間は最小化する。加工時間は短い。
- 加工物の形状は単純で、形状精度の計測が容易である。
- 加工物の形状誤差から、加工機の様々な誤差要因を独立に診断することが出来る。個々の誤差要因が形状誤差に及ぼす影響を、直感的に理解することができる。

3. 研究の方法

(1) 多軸加工機の加工精度シミュレータの構築：

最初の段階として、多軸制御加工機の運動幾何学の最も基本的な誤差と言える、幾何誤差がどのように加工物の形状精度に転写されるかを評価する加工精度シミュレータを構築した。具体的な対象として主にNAS979

規格に定められているような円錐台の加工を考えた。



図 1: 円錐台加工試験の様子(本研究における加工試験例)

(2) 多軸加工機の運動誤差要因の体系化：

上記の加工精度シミュレータを、より複雑な誤差要因に対応できるように拡張した。旋回軸の位置決め誤差、軸受に起因する振動、重力による変形、旋回軸の回転振れ、アンギュラモーションなどと言った多軸制御加工機が一般に持つ誤差要因を、ワーク・工具間の相対位置・姿勢に及ぼす影響を幾何学的にモデル化することで体系化し、シミュレーションに組み込んだ。

(3) 円錐台の加工実験による加工精度シミュレータの評価：

加工精度シミュレータの正当性を、実際の加工試験によって確認した。特に工作機械メーカーの需要が大きい、円錐台の加工試験を対象とした。加工物の形状誤差と、構築した加工精度シミュレータにより予測した軌跡とを比較し、加工精度シミュレータの正当性を評価した。

(4) 誤差要因の補正法の構築：

構築した加工精度シミュレータにより予測された位置と姿勢の誤差を、補正することができる指令値を出力する手法を提案し、CNC上に実装する方法を考えた。

(5) 誤差要因の診断に適した新しい加工試験法の提案：

上の結果を踏まえ、加工物の形状精度を測定することにより全ての誤差要因を効率よく同定するために、より適した加工形状を提案した。5軸制御加工機を用いて加工実験を行い、加工物の形状誤差を3次元測定器で測定して、誤差要因の定量的診断を行った。

4. 研究成果

(1) 多軸加工機の加工精度シミュレータ

任意の加工形状に対して、多軸制御加工機の誤差要因が加工精度に及ぼす影響を定量的にできる加工精度シミュレータを構築した。特に円錐台加工試験については、どのよ

うな誤差要因が加工物の形状精度に大きな影響を及ぼすのか、集中的に検討した。

一例として、図1にシミュレートされた円錐台の形状誤差軌跡（赤線）と、真円度測定器を用いて測定した実際の加工物の形状誤差軌跡（青線）の比較を示す。両者はよく一致している。このような楕円上の形状誤差の原因となるのは、例えば旋回軸間の直角度等が挙げられることを明らかにした。

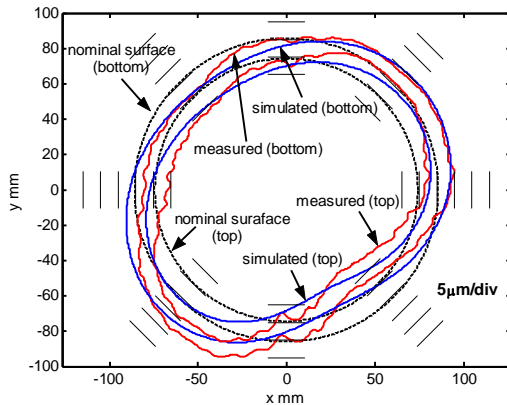


図2: 円錐台の形状誤差のシミュレーション結果と実測結果の比較

(2) 誤差要因の補正法

上記の加工精度シミュレータを基礎として、誤差要因の補正システムを構築した。主に円錐台の加工試験に対して、その効果を実験的に検証した。

一例として、図1の円錐台加工に対し、構築した補正法を適用して加工を行い、加工物の形状誤差軌跡を真円度測定器を用いて測定した結果を図2に示す。真円度は70%程度改善した。

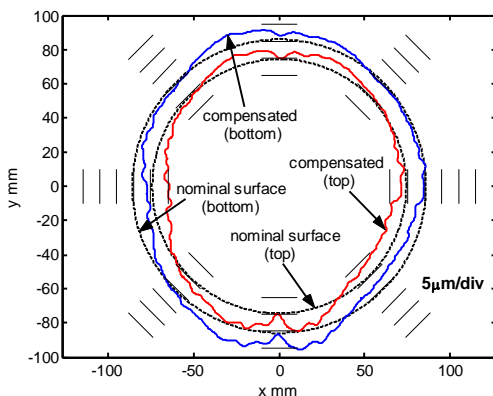


図3: 円錐台の形状誤差軌跡(補正後)

(3) 誤差要因の診断に適した新しい加工試験法の提案:

5軸制御加工機の加工精度の検査に広く普及している円錐台の加工試験法は、機械の

誤差要因と加工物の形状誤差との関係が複雑で、かつ1対1に対応しないため、加工物の形状誤差から誤差診断を行うことは極めて限定された範囲でしか行えないことを明らかにすることができた。

本研究では、加工物の形状誤差から、加工機の誤差要因の定量的診断を行うことを目的とした、全く新しい加工試験法を提案した。

提案した加工試験法は、単純なパターンの加工を組み合わせた形となっている。提案した加工パターンの一例を、図3に示す。ストレートエンドミルを用いて、基準面(a)(b)の加工を行ったあと、(c)の段加工を行い、次にC軸(回転テーブル)を180度回転させ、(d)の段加工を行う。

段(c)(d)の底面のZ方向位置、及び傾きを三次元測定器を用いて測定した結果の一例を図4に示す。本来両面は平行で、Z方向位置も同じであるはずだが、機械の誤差要因によって平行度・位置に明らかに誤差が生じていることが分かる。

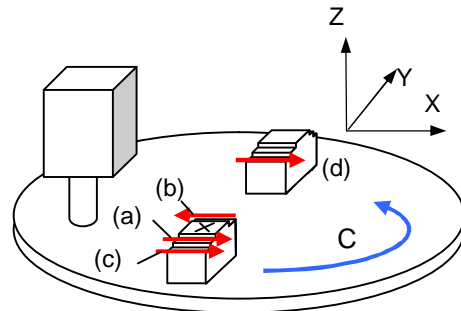


図4 加工パターンの一例(パターン1)

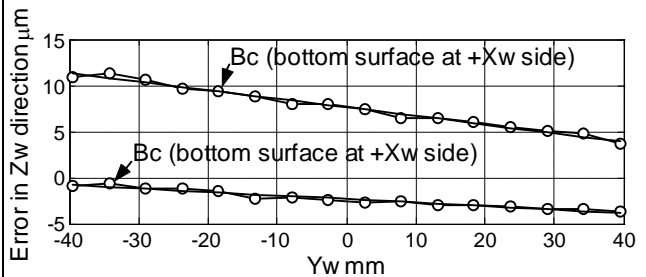


図5: 加工物の形状誤差の一例

実際には、同様の加工パターンを加工機の形状に合わせて複数組み合わせ、全ての幾何誤差を独立に診断できるように加工試験を行う。図5は加工パターンの一例を示したものである。実際の加工試験では、図6に示すように、同一ワーク上に複数のパターンの加工試験を行う。

加工物の形状精度を3次元測定器を用いて測定した。加工物の形状誤差と、加工機の幾何誤差の関係を記述するモデルを、(1)で

構築した加工シミュレータを基礎として構築した。そのモデルを用いて、加工機の幾何誤差を同定する試験を行った。

ボールバー測定を用いて同定した結果と比較して、ほぼ一致した診断結果が得られることを実験により示した。

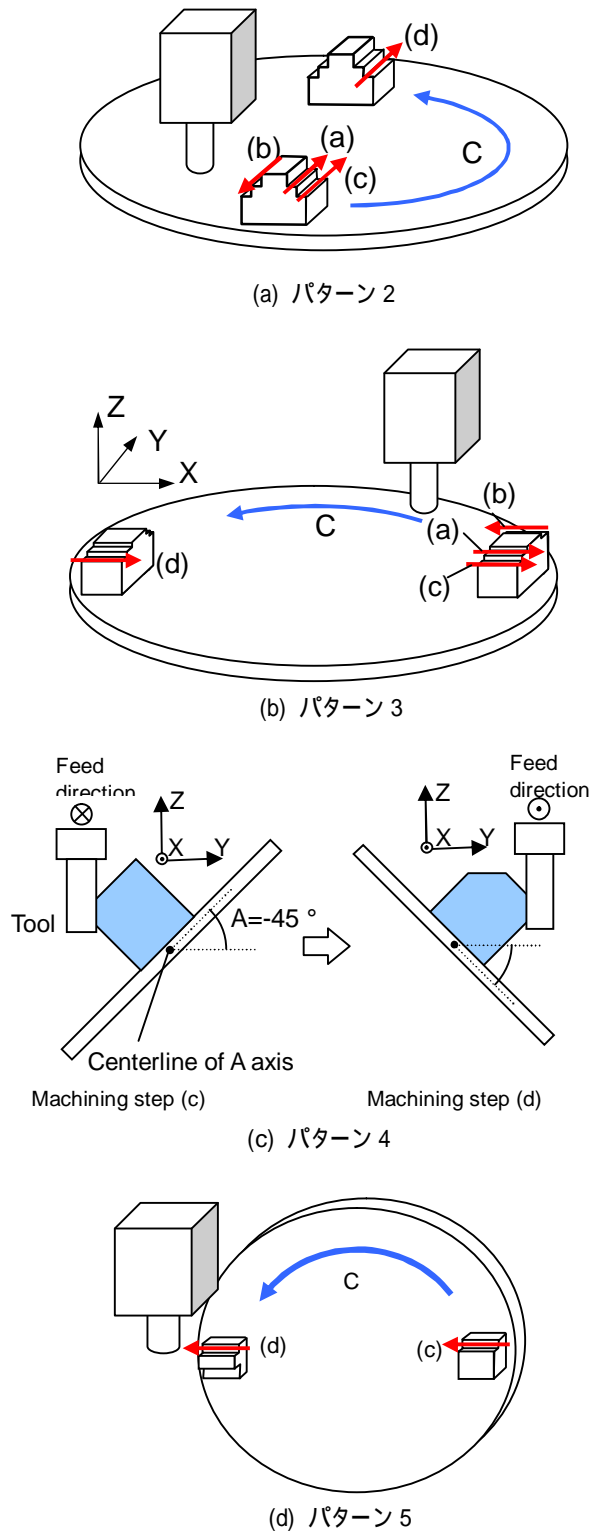


図 6: 検討した加工パターンの例

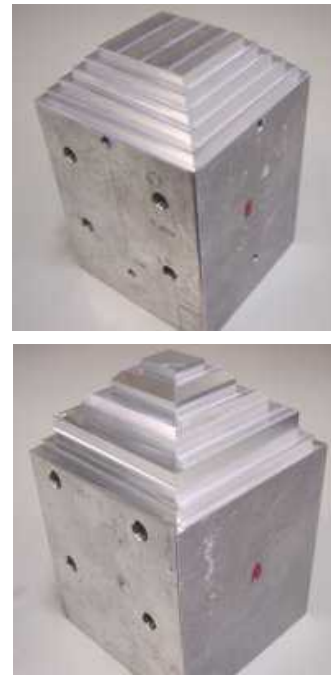


図 7: 加工物の全体形状

(5) 考察

5軸加工機の誤差要因を診断する方法として、ボールバーを用いた測定法など、非切削の測定法がこれまで多く研究され、工作機械メーカーにも現在普及しつつある。ボールバーを用いた測定法と比べて、本論文で提案した加工試験による幾何誤差の同定法は、以下の長所を持つと考えている。

工作機械として最終的に重要な加工精度を試験できる。

DBB 測定装置を用いる測定法の場合、機械の運動範囲が DBB バーの長さにより制約される場合がある。加工試験に基づく方法は、機械の稼動範囲内で加工を行うので、測定範囲が制約されない。小型または大型の5軸制御工作機械に対して有利である。DBB 測定装置を用いた同定方法は各軸間の同期運動が必要であるのに対して、提案する加工試験は加工時は1軸の運動のみである。したがって、直進軸の動的な運動誤差など、幾何誤差以外の誤差要因の影響を低減できる。

誤差診断方法として拡張性がある。例えば、試験方法を拡張すれば回転軸の位置決め精度、回転の振動、直進軸の位置決め誤差を診断項目に加えられる可能性がある。

5軸制御加工機の運動精度の向上を目的として、提案した加工試験法と、診断された誤差要因の補正法を普及させるために、今後も研究を続けていく。

5 . 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

M. Sharif Uddin, Soichi Ibaraki, Atsushi Matsubara, Tetsuya Matsushita, Prediction and compensation of machining geometric errors of five-axis machining centers with kinematic errors, Precision Engineering, 33(2), pp. 194-201, 2009 , 査読あり .

[学会発表] (計 1 件)

M. Sharif Uddin, S. Ibaraki, A. Matsubara, T. Matsushita, Prediction of Machining Accuracy of 5-Axis Machine Tools with Kinematic Errors," Proc. of the 35th International MATADOR Conference, pp. 285-288, 2007, 査読あり .

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

茨木 創一 (IBARAKI SOICHI)
京都大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号 : 80335190